

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 11 141.7

Anmeldetag: 14. März 2003

Anmelder/Inhaber: DaimlerChrysler AG,
70567 Stuttgart/DE;
ROBERT BOSCH GMBH,
70469 Stuttgart/DE.

Bezeichnung: Verfahren, Computerprogramm, Speichermedium
und Steuer- und/oder Regelgerät zum Betreiben
einer Brennkraftmaschine sowie Brennkraftmaschine
insbesondere für ein Kraftfahrzeug

IPC: F 02 D 41/20

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.


München, den 05. Februar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

Faust


28.02.2003

- 5 1. Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart
 2. DaimlerChrysler, Epplestr. 225, 70567 Stuttgart

 Verfahren, Computerprogramm, Speichermedium und Steuer- und/oder Regelgerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, sowie Brennkraftmaschine insbesondere für ein Kraftfahrzeug

Stand der Technik

15

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, bei dem Kraftstoff von einem Injektor in einen Brennraum eingespritzt wird, wobei der Injektor einen ansteuerbaren Piezoaktor aufweist, und bei dem ein Vorsteuer-Sollwert für die Ansteuerung des Piezoaktors erzeugt wird. Die Erfindung betrifft ebenfalls ein  Computerprogramm, ein Speichermedium, ein Steuer- und/oder Regelgerät und eine Brennkraftmaschine insbesondere für ein Kraftfahrzeug.

20

25

Ein derartiges Verfahren ist aus der DE 101 48 217.5 bekannt. Dort ist ein Injektor für die Einspritzung von Kraftstoff vorgesehen, dessen Ventalnadel mit einem Piezoaktor verbunden ist. Wenn an dem Piezoaktor eine Spannung angelegt wird, erfährt dieser eine Längenänderung, die er auf die Ventalnadel überträgt. Diese hebt somit von ihrem Ventilsitz ab, so dass Kraftstoff unter hohem Druck aus dem Injektor in den Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt werden kann.

30

Zur Ansteuerung des Piezoaktors ist vorgesehen, dass ein Sollwert erzeugt wird, der

nicht nur abhängig ist von der erwünschten, einzuspritzenden Kraftstoffmasse oder –
menge, sondern bei dem auch weitere Einflussgrößen berücksichtigt werden, die eine
Verfälschung des Sollwerts bewirken könnten. Derartige Einflussgrößen sind
beispielsweise die Temperatur des Injektors oder dessen Alterung oder

5 Exemplarstreuungen oder dergleichen.

Aus der DE 198 54 789.7 ist es bekannt, die Kapazität des Piezoaktors bei der
Ermittlung des den Piezoaktor beaufschlagenden Stroms zu berücksichtigen. Damit soll
eine genauere Steuerung des Piezoaktors erreicht werden.



Die vorliegende Erfindung hat die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs genannten Art
so weiterzubilden, dass der Kraftstoff noch präziser eingespritzt werden kann.

Vorteile der Erfindung

15

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß
dadurch gelöst, dass aus dem Sollwert eine Soll-Ladungsmenge ermittelt wird, dass eine
dem Piezoaktor zugeführte Ist-Ladungsmenge ermittelt wird, dass die Soll-
Ladungsmenge und die Ist-Ladungsmenge miteinander verknüpft werden, und dass das
Verknüpfungsergebnis auf die Ansteuerung des Piezoaktors einwirkt. Bei einem
20 Computerprogramm, einem Speichermedium, einem Steuer- und/oder Regelgerät und
bei einer Brennkraftmaschine wird die Aufgabe erfindungsgemäß entsprechend gelöst.

20

Die Erfindung stellt eine Ladungsregelung für die Ansteuerung des Piezoaktors dar.
25 Aufgrund der Ladungsregelung kann der Piezoaktor und damit die einzuspritzende
Kraftstoffmenge von dem erfindungsgemäßen Verfahren mit sehr hoher Präzision
eingestellt werden. Dies wirkt sich einerseits günstig auf den Kraftstoffverbrauch der
Brennkraftmaschine aus, führt andererseits aber auch zu einem besseren
Emissionsverhalten einer solchermaßen betriebenen Brennkraftmaschine.

30

Insbesondere hat sich gezeigt, dass eine Ladungsregelung wesentlich unempfindlicher gegenüber einer Alterung des Piezoaktors ist. Entsprechendes gilt auch für die sogenannte Vorgeschichte des Piezoaktors, beispielsweise dessen Fertigung und dabei auftretende Toleranzen oder dergleichen. Ebenfalls ist die Ladungsregelung wesentlich
5 unempfindlicher gegenüber Temperaturveränderungen und ähnlichen Einflüssen. Diese Einflussgrößen haben somit bei der Kraftstoffzumessung nur noch einen geringen oder gar keinen Einfluss mehr. Dies ist jedoch gleichbedeutend damit, dass die Kraftstoffzumessung mit Hilfe eines Piezoaktors insbesondere über einen längeren Zeitraum wesentlich genauer als bisher ausgeführt werden kann.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird aus der Soll-Ladungsmenge ein Strom zur Ansteuerung des Piezoaktors ermittelt, und es wirkt das Verknüpfungsergebnis auf den Strom ein. Mit diesem Strom wird letztlich der Piezoaktor angesteuert. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn die Soll-Ladungsmenge
15 auf eine vorgegebene Einschaltzeitdauer bezogen wird.

Dies bringt den besonderen Vorteil mit sich, dass die Einschaltzeitdauer unabhängig von der Ladungsregelung vorgegeben werden kann. Die Einschaltzeitdauer kann somit derart vorgegeben werden, wie dies aufgrund der vorgesehenen Einspritzung
20 erforderliche ist. Beispielsweise können damit auch die Zeitbedingungen für Mehrfacheinspritzungen innerhalb ein- und desselben Arbeitsspiels erfüllt werden. Die Beeinflussung des Piezoaktors erfolgt erfindungsgemäß über eine Veränderung des den Piezoaktor ansteuernden Stroms. Damit ist es möglich, die zu dem Piezoaktor transportierte Ladung und damit den Hub des Piezoaktors zu beeinflussen, und zwar –
25 wie gesagt – bei gleichzeitig unabhängig davon vorgegebbarer Einschaltzeitdauer des Stroms.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die Ermittlung der Ist-Ladungsmenge nach Ablauf der Einschaltzeitdauer durchgeführt. Damit ist auf einfache
30 Weise eine genaue Ladungsmessung möglich.

Besonders vorteilhaft ist es, die genannte Ladungsregelung zum Öffnen des Injektors zu verwenden.

- 5 Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist eine Spannungsregelung für den Piezoaktor vorzugsweise zum Schließen des Injektors vorgesehen. Damit kann einerseits eine Energierückgewinnung erreicht werden. Andererseits wird durch eine vorgebbare Ausschaltzeitdauer gewährleistet, dass der Piezoaktor nach Ablauf dieser Ausschaltzeitdauer im wesentlichen entladen ist. Die Ausschaltzeitdauer ist dabei wiederum unabhängig von der Spannungsregelung und kann damit an die Zeitbedingungen der Einspritzung bzw. von Mehrfacheinspritzungen angepasst werden.

- 15 Zur vollständigen Entladung des Piezoaktors ist es zweckmäßigerweise möglich, dies über einen insbesondere zuschaltbaren Widerstand schnellstmöglich zu entladen durchzuführen.

- 20 Die Erfindung betrifft auch ein Computerprogramm, welches zur Durchführung des obigen Verfahrens geeignet ist, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird. Dabei wird besonders bevorzugt, wenn das Computerprogramm auf einem Speichermedium, insbesondere auf einem Flash-Memory, abgespeichert ist.

- 25 Gegenstand der Erfindung ist auch ein Steuer- und/oder Regelgerät zum Betreiben einer Brennkraftmaschine. Um die Brennkraftmaschine leistungs- und emissionsoptimal betreiben zu können, wird vorgeschlagen, dass das Steuer- und/oder Regelgerät einen Speicher umfasst, auf dem ein Computerprogramm der obigen Art abgespeichert ist.

- 30 Weiterhin betrifft die Erfindung eine Brennkraftmaschine mit einem Brennraum und mit einer Kraftstoff-Einspritzvorrichtung, welche einen Piezoaktor umfasst und über welche der Kraftstoff in den Brennraum gelangt. Damit die Brennkraftmaschine leistungs- und emissionsoptimal betrieben werden kann, wird vorgeschlagen, dass sie ein Steuer-

und/oder Regelgerät der obigen Art umfasst.

Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung bzw. in der Zeichnung.

Ausführungsbeispiele der Erfindung

Figur 1 zeigt eine schematische Prinzipdarstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Brennkraftmaschine,

Figur 2 zeigt eine teilweise geschnittene Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Kraftstoff-Einspritzvorrichtung für die Brennkraftmaschine der Figur 1,

Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, nach dem die Brennkraftmaschine der Figur 1 bzw. die Kraftstoff-Einspritzvorrichtung der Figur 2 betrieben wird,

Figur 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, nach dem die Brennkraftmaschine der Figur 1 bzw. die Kraftstoff-Einspritzvorrichtung der Figur 2 betrieben wird, und

Figur 5 zeigt ein schematisches Zeitdiagramm der der Kraftstoff-Einspritzvorrichtung der Figur 2 nach den Verfahren der Figuren 3 und 4 zugeführten Ladung.

In Figur 1 ist eine Brennkraftmaschine 10 dargestellt, die in ein Kraftfahrzeug eingebaut ist. Die Brennkraftmaschine 10 umfasst mehrere Zylinder, von denen in Figur 1 nur ein Zylinder 12 dargestellt ist. In ihm ist ein Kolben 14 aufgenommen, welcher eine Kurbelwelle 16 antreibt. Die Drehzahl der Kurbelwelle 16 wird von einem Drehzahlsensor 18 abgegriffen.

Einem Brennraum 20 des Zylinders 12 wird Verbrennungsluft über ein Ansaugrohr 22 und ein in Figur 1 nicht dargestelltes Einlassventil zugeführt. Die Verbrennungsabgase werden aus dem Brennraum 20 über ein Abgasrohr 24 abgeführt, welches über ein in

5 Figur 1 ebenfalls nicht dargestelltes Auslassventil mit dem Brennraum 20 verbunden ist. Kraftstoff wird dem Brennraum 20 über eine als Injektor 26 ausgebildete Kraftstoff-Einspritzvorrichtung direkt eingespritzt. Der Injektor 26 ist mit einem Kraftstoffsystem 28 verbunden, welches in Figur 1 nur symbolisch dargestellt ist. Es umfasst einen Kraftstoffbehälter, eine Vorförderpumpe, eine Hauptförderpumpe, und eine Kraftstoff-Sammelleitung ("Rail"), in der der Kraftstoff unter hohem Druck gespeichert ist. Der Injektor 26 ist an die Kraftstoff-Sammelleitung angeschlossen und in den Zylinder 12 der Brennkraftmaschine 10 eingebaut..

Der sich im Brennraum 20 befindende Kraftstoff wird von einer Zündkerze 30

15 entzündet. Diese erhält die für eine Zündung notwendige Energie von einem Zündsystem 32. Das Zündsystem 32 wird wiederum von einem Steuer- und/oder Regelgerät 34 angesteuert. Dieses ist ausgangsseitig über eine Endstufe 35 auch mit dem Injektor 26 verbunden und steuert diesen an. Die Endstufe 35 kann in das Steuer- und/oder Regelgerät 34 integriert sein. Eingangsseitig erhält das Steuer- und/oder

20 Regelgerät 34 Signale von einem Temperatursensor 36, welcher die Temperatur des Injektors 26 erfasst. Alternativ ist es möglich, dass die Temperatur des Injektors 26 insbesondere mit Hilfe einer Modellbildung aus anderen Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 10, z.B. aus der Motortemperatur, ermittelt wird, so dass der Temperatursensor 36 insoweit entfallen kann. Ferner ist auch der Drehzahlsensor 18 mit

25 dem Steuer- und/oder Regelgerät 34 verbunden. Ein Stellungsgeber 38, welcher die Stellung eines Gaspedals 40 abgreift, liefert ebenfalls Signale an das Steuer- und/oder Regelgerät 34.

Das Steuer- und/oder Regelgerät 34 kann als analoge elektronische Schaltung aufgebaut

30 sein. Vorzugsweise weist das Steuer- und/oder Regelgerät 34 einen Rechner,

beispielsweise einen Mikroprozessor mit einem Flash-Memory auf. Weiterhin ist das Steuer- und/oder Regelgerät 34 mit den beschriebenen Sensoren und Aktoren verbunden, so dass es deren Signale verarbeiten bzw. Signale zu deren Ansteuerung erzeugen kann. Auf dem Flash-Memory ist ein Computerprogramm mit einer Mehrzahl von Programmbefehlen abgespeichert. Das Computerprogramm ist dabei dazu geeignet, die nachfolgend beschriebenen Verfahren auszuführen, wenn es auf dem Mikroprozessor abläuft.

In der Figur 2 ist der Injektor 26 detaillierter dargestellt. Er umfasst einen Ventilkörper 42, in dem eine von einem Ringraum 48 umgebene Ventalnadel 46 verschieblich untergebracht ist. Die Ventalnadel 46 öffnet "nach außen", also in den Brennraum hinein. An ihrem freien Ende ist die Ventalnadel 46 kegelförmig ausgebildet und sitzt auf einem entsprechenden Ventilsitz auf. Im geöffneten Zustand der Ventalnadel 46 ist das Kraftstoffsystem 28 über den Ringraum 48 mit dem Brennraum verbunden. Damit ergibt sich in diesem geöffneten Zustand ein in den Brennraum gerichteter Kegelstrahl aus Kraftstoff.

Das von der kegelförmigen Ausbildung abgewandte Ende der Ventalnadel 46 ist fest mit einem Piezoaktor 50 gekoppelt. Gegebenenfalls ist auch eine hydraulische Kopplung möglich. Bei dem Piezoaktor 50 handelt es sich um eine schichtartig aufgebaute Säule aus einer Vielzahl von einzelnen Piezoelementen. Das von der Ventalnadel 46 abgewandte Ende des Piezoaktors 50 ist mit einem Gehäuse 52 des Injektors verklemmt. Der Piezoaktor 50 ist über Steuerleitungen 54 mit der Endstufe 35 verbunden. Über diese wird dem Piezoaktor 50, in noch darzustellender Art und Weise, die für eine Bewegung des Piezoaktors 50 erforderliche Ansteuerenergie zugeführt.

Die Brennkraftmaschine 10 arbeitet mit Benzindirekteinspritzung, sie kann also sowohl im Schichtbetrieb als auch im Homogenbetrieb betrieben werden. Im Schichtbetrieb liegt nur im Bereich der Zündkerze 30 ein zündfähiges Kraftstoffgemisch vor, wohingegen der restliche Teil des Brennraums 20 von Kraftstoff zumindest zunächst

weitgehend frei ist. Dies wird dadurch erreicht, dass der Injektor 26 Kraftstoff während eines Kompressionshubs des Kolbens 14 einspritzt. Möglich ist aber auch, dass der Kraftstoff vom Injektor 26 während eines Saughubs des Kolbens 14 eingespritzt wird, was dazu führt, dass der Kraftstoff weitgehend homogen im Brennraum 20 der Brennkraftmaschine 10 verteilt vorliegt. Auch beliebige Kombinationen sind möglich.

Um eine Einspritzung zu realisieren, wird der Injektor 26 über die Endstufe 35 vom Steuer- und/oder Regelgerät 34 mit einer elektrischen Ansteuerenergie beaufschlagt. Zu diesem Zweck wird dem Piezoaktor 50 ein elektrischer Strom zugeführt. Dieser führt dazu, dass sich der Piezoaktor 50 in Längsrichtung verlängert. Hierdurch wird die Ventilnadel 46 von ihrem Ventilsitz am Ventilkörper 42 abgehoben, so dass die Ventilnadel 46 in ihren geöffneten Zustand übergeht. Ein bestimmter Stromfluss während einer bestimmten Zeitdauer, was gleichbedeutend mit einer bestimmten Ladung ist, führt zu einem bestimmten Hub der Ventilnadel 46. Diesen Hub behält die Ventilnadel 46 bei, auch nachdem die bestimmte Zeitdauer beendet ist und deshalb kein Stromfluss mehr vorhanden ist.

Soll die Einspritzung beendet werden, so wird der Piezoaktor 50 entladen. Zu diesem Zweck wird ein entsprechender Entladestrom zugeführt, so dass der Piezoaktor 50 wieder seine Ausgangslänge einnimmt und die Ventilnadel 46 an ihrem Ventilsitz in Anlage kommt. Diese Schließbewegung kann durch eine Feder 44 unterstützt werden.

Die Längenänderung des Piezoaktors 50, welche dieser erfährt, wenn man ihm einen Strom zuführt, hängt jedoch nicht nur von der Höhe des Stroms ab, sondern auch von verschiedenen anderen Größen. Diese Größen beeinflussen das Betriebsverhalten des Piezoaktors 50 und werden daher als "Einflussgrößen" bezeichnet. Eine solche Einflussgröße ist bspw. die Temperatur T des Piezoaktors 50. Diese wird vom Temperatursensor 36 erfasst und dem Steuer- und/oder Regelgerät 34 übermittelt. Alternativ kann die Temperatur auch aus einem Modell ermittelt werden.

Eine weitere Einflussgröße ist das Alter des Piezoaktors 50. Hierunter wird nicht nur das Lebensalter verstanden, welches bspw. in Tagen, Monaten und/oder Jahren gemessen werden kann, sondern auch die Anzahl der Hube, welche der Piezoaktor 50 im Laufe seines Lebens bereits ausgeführt hat. Weiterhin stellt die Fertigungstoleranz, mit welcher der Piezoaktor 50 hergestellt wurde, eine Einflussgröße dar. Auf Grund unterschiedlicher Bedingungen bei der Herstellung des Piezoaktors 50 kann es vorkommen, dass bei gleicher Ansteuerenergie und an sich identischen Piezoaktoren diese doch unterschiedliche Hube ausführen.

In der Figur 3 ist ein Verfahren zur zylinderindividuellen Regelung der Ansteuerung des Piezoaktors 50 dargestellt. Es handelt sich dabei um denjenigen Teil der Ansteuerung, durch den der Injektor 26 geöffnet wird. Bei diesem Verfahren wird von einem Sollhub H_{soll} ausgegangen, der den erwünschten Hub der Ventalnadel 46 des Injektors 26 darstellt, den diese innerhalb einer Einschaltzeitdauer t_{on} ausführen soll. Der Sollhub H_{soll} kann auf unterschiedliche, hier nicht näher erläuterte Arten ermittelt und gegebenenfalls korrigiert werden.

In einem Block 60 der Figur 3 wird der Sollhub H_{soll} in eine Soll-Ladungsmenge Q_{Csoll} umgerechnet. Diese Umrechnung kann beispielsweise anhand von vorherigen Messungen mit Hilfe einer Kennlinie oder eines Kennfelds erfolgen, wobei zusätzlich die Temperatur T des Injektors 26 berücksichtigt werden kann. Bei der Soll-Ladungsmenge Q_{Csoll} handelt es sich um diejenige Ladung, die dem Injektor 16 zugeführt werden muss, damit die Ventalnadel 46 des Injektors 26 den erwünschten Sollhub H_{soll} ausführt.

Ein Teil desjenigen Stroms, mit dem der Piezoaktor 50 des Injektors 26 beaufschlagt wird, wird (in nicht-dargestellter Weise) einem Kondensator beispielsweise in Form einer Parallelschaltung zugeführt. Während der Einschaltzeitdauer t_{on} des Stroms, also während der Piezoaktor 50 angesteuert wird, wird somit auch dieser Kondensator aufgeladen. Nach jeder Einschaltzeitdauer stellt die Spannung an dem Kondensator

einen Wert für die dem Piezoaktor 50 zugeführte Ladungsmenge dar. Dieser Wert ist in der Figur 3 als Ist-Ladungsmenge QCist angegeben. Diese Ladungsmessung wird aufeinanderfolgend für jede Einschaltzeitdauer des Piezoaktors 50 durchgeführt, so dass für jede Zuführung einer Ladungsmenge zu dem Piezoaktor 50 eine zugehörige Ist-Ladungsmenge QCist vorhanden ist.

Daraufhin werden die Soll-Ladungsmenge QCsoll und die Ist-Ladungsmenge QCist in einem Block 61 miteinander verglichen. Die Differenz der beiden Ladungsmengen wird einem PI-Regler 62 zugeführt, dessen Ausgangssignal Son das Stellsignal eines auf diese Weise aufgebauten Ladungsregelkreises bildet.

Weiterhin wird aus der Soll-Ladungsmenge QCsoll ein Strom idon ermittelt. Dies erfolgt dadurch, dass die Soll-Ladungsmenge QCsoll in einem Block 63 auf die Einschaltzeitdauer ton bezogen bzw. durch diese dividiert wird. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass derjenige Strom idon ermittelt wird, der während der Einschaltzeitdauer ton fließen muss, damit die Soll-Ladungsmenge QCsoll während dieser Einschaltzeitdauer ton zu dem Piezoaktor 50 des Injektors 26 transportiert wird.

Bei der Einschaltzeitdauer ton handelt es sich dabei um diejenige Zeitdauer, während der der Piezoaktor 50 von der Endstufe 35 mit dem Strom idon beaufschlagt wird, so dass die Ventilmadel 46 des Injektors 26 den erwünschten Sollhub Hsoll ausführt. Bei dem Strom idon handelt es sich um einen durchschnittlichen Strom, der insbesondere auch durch ein getaktetes Ein- und Ausschalten eines tatsächlich erzeugten Stroms während der Einschaltzeitdauer ton erzeugt werden kann.

Dem Strom idon wird nunmehr in einem Block 64 das Ausgangssignal des PI-Reglers 62 additiv hinzugefügt. Damit wird die Abweichung der Soll-Ladungsmenge QCsoll von der Ist-Ladungsmenge QCist bei dem den Piezoaktor 50 beaufschlagenden Strom berücksichtigt. Es entsteht ein Strom idron, der – wie bereits angedeutet – von der Endstufe 35 gegebenenfalls in einen getakteten Strom umgesetzt wird, um dann dem

Piezoaktor 50 des Injektors 26 zugeführt zu werden. Über die erläuterte Ladungsmessung und die daraus resultierende Ermittlung der Ist-Ladungsmenge Q_{Cist} wird der Ladungsregelkreis geschlossen.

- 5 In der Figur 4 ist ein Verfahren zur zylinderindividuellen Regelung der Ansteuerung des Piezoaktors 50 dargestellt. Es handelt sich dabei um denjenigen Teil der Ansteuerung, durch den der Injektor 26 wieder geschlossen wird. Bei diesem Verfahren wird von einer Sollspannung U_{soll} ausgegangen, die die erwünschte Spannung an dem Piezoaktor 50 des Injektors 26 darstellt, den dieser nach Ablauf einer Ausschaltzeitdauer t_{off} aufweisen soll. Die Sollspannung U_{soll} kann auf unterschiedliche, hier nicht näher erläuterte Arten ermittelt bzw. vorgegeben und gegebenenfalls korrigiert werden.

- Nach Ablauf der vorgenannten Ausschaltzeitdauer t_{off} wird die an dem Piezoaktor 50 anliegende Spannung (in nicht-dargestellter Weise) gemessen. Dies stellt eine
15 Istspannung U_{ist} dar.

- Die Sollspannung U_{soll} und die Istspannung U_{ist} werden in einem Block 65 miteinander verglichen. Die Differenz der beiden Spannungen wird einem PI-Regler 66 zugeführt, dessen Ausgangssignal S_{off} das Stellsignal eines auf diese Weise
20 aufgebauten Spannungsregelkreises bildet.

- Weiterhin wird aus der bereits erwähnten Soll-Ladungsmenge Q_{Csoll} ein Strom i_{doff} ermittelt. Dies erfolgt dadurch, dass die Soll-Ladungsmenge Q_{Csoll} in einem Block 67 auf die Ausschaltzeitdauer t_{off} bezogen bzw. durch diese dividiert wird. Dies bedeutet
25 mit anderen Worten, dass derjenige Strom i_{doff} ermittelt wird, der während der Ausschaltzeitdauer t_{off} fließen muss, damit die Soll-Ladungsmenge Q_{Csoll} während dieser Ausschaltzeitdauer t_{off} von dem Piezoaktor 50 des Injektors 26 wieder wegtransportiert wird.

- 30 Bei der Ausschaltzeitdauer t_{off} handelt es sich dabei um diejenige Zeitdauer, während

der der Piezoaktor 50 von der Endstufe 35 mit dem Strom i_{doff} beaufschlagt wird, so dass die Ventilnadel 46 des Injektors 26 wieder geschlossen wird. Bei dem Strom i_{doff} handelt es sich um einen durchschnittlichen Strom, der insbesondere auch durch ein getaktetes Ein- und Ausschalten des tatsächlich erzeugten Stroms über der

5 Ausschaltzeitdauer t_{off} erzeugt wird. Der Strom i_{doff} ist im Hinblick auf den Strom i_{on} entgegengesetzt gerichtet.

Dem Strom i_{doff} wird nunmehr in einem Block 68 das Ausgangssignal des PI-Reglers 66 additiv hinzugefügt. Damit wird die Abweichung der Sollspannung U_{soll} von der Istspannung U_{ist} bei dem den Piezoaktor 50 beaufschlagenden Strom berücksichtigt. Es entsteht ein Strom i_{droff} , der – wie bereits angedeutet – von der Endstufe 35 gegebenenfalls in einen getakteten Strom umgesetzt wird, um dann dem Piezoaktor 50 des Injektors 26 zugeführt zu werden. Über die genannte Spannungsmessung und die daraus resultierende Ermittlung der Istspannung U_{ist} wird der Spannungsregelkreis

15 geschlossen.

Die Figur 5 zeigt den zeitlichen Ablauf einer Einspritzung von Kraftstoff über den Injektor 26. In der Figur 5 ist die in dem Piezoaktor 50 vorhandene Ladung Q über der Zeit t dargestellt.

20 Während der Einschaltzeitdauer t_{on} wird – wie beschrieben – der Piezoaktor 50 mit dem Strom i_{don} beaufschlagt. Dies stellt eine Zuführung von Ladung zu dem Piezoaktor 50 dar, was in der Figur 5 dem ansteigenden Teil der dargestellten Kurve entspricht. Wie bereits erwähnt wurde, wird nach Ablauf der Einschaltzeitdauer t_{on} die Ist-Ladungsmenge Q_{Cist} gemessen. Dies ist in der Figur 5 durch einen Messpunkt

25 MQC dargestellt.

Entspricht die Ist-Ladungsmenge Q_{Cist} in diesem Messpunkt MQC nicht der erwünschten Soll-Ladungsmenge Q_{Csoll} , so wird, wie dies im Zusammenhang mit der

30 Figur 3 erläutert wurde, der Strom i_{don} zu dem Piezoaktor 50 durch den PI-Regler 62

entsprechend beeinflusst. Ist die Ist-Ladungsmenge QC_{ist} beispielsweise kleiner als die Soll-Ladungsmenge QC_{soll} , so wird der Strom i_{dron} erhöht.

Dieser erhöhte Strom i_{dron} wird erst bei der nächsten Einspritzung wirksam. Dort führt der erhöhte Strom i_{dron} zu einer erhöhten Zuführung von Ladung zu dem Piezoaktor 50. Dies ist in der Figur 5 gestrichelt dargestellt. Die neue Ist-Ladungsmenge QC_{ist} wird wieder gemessen und das beschriebene Verfahren läuft erneut ab.

Auf diese Weise wird zweierlei erreicht: Erstens wird die dem Piezoaktor 50 zuzuführende Ladung immer während der Einschaltzeitdauer t_{on} zugeführt. Die Einschaltzeitdauer t_{on} ist somit eine feste Größe, die durch andere Parameter vorgegeben werden kann, die jedoch nicht durch den beschriebenen Ladungsregelkreis verändert wird. Zweitens wird bei dem Ladungsregelkreis der Figur 3 die dem Piezoaktor 50 zuzuführende Ladung über den die Ladung transportierenden Strom i_{dron} geregelt. Dieser Strom i_{dron} wird dabei über die Endstufe 35 gegebenenfalls getaktet dem Piezoaktor 50 zugeführt.

Während der Ausschaltzeitdauer t_{off} wird – wie beschrieben – der Piezoaktor 50 mit dem Strom i_{droff} beaufschlagt. Der Strom i_{droff} während der Ausschaltzeitdauer t_{off} ist dabei entgegengesetzt gerichtet zu dem Strom i_{dron} während der Einschaltzeitdauer t_{on} . Dies stellt somit eine Abführung von Ladung von dem Piezoaktor 50 dar, was in der Figur 5 dem abfallenden Teil der dargestellten Kurve entspricht. Wie bereits erwähnt wurde, wird nach Ablauf der Ausschaltzeitdauer t_{off} die Istspannung U_{ist} gemessen. Dies ist in der Figur 5 durch einen Messpunkt MU dargestellt.

Entspricht die Istspannung U_{ist} in diesem Messpunkt MU nicht der erwünschten Sollspannung U_{soll} , so wird, wie dies im Zusammenhang mit der Figur 4 erläutert wurde, der Strom i_{droff} zu dem Piezoaktor 50 durch den PI-Regler 66 entsprechend beeinflusst. Ist die Istspannung U_{ist} beispielsweise größer als die Sollspannung U_{soll} , so wird der Strom i_{droff} betragsmäßig erhöht.

Dieser erhöhte Strom i_{doff} wird erst bei der nächsten Einspritzung wirksam. Dort führt der erhöhte Strom i_{doff} zu einer erhöhten Wegnahme von Ladung von dem Piezoaktor 50. Dies ist in der Figur 5 gestrichelt dargestellt. Die neue Istspannung U_{ist} wird wieder
 5 gemessen und das beschriebene Verfahren läuft erneut ab.

Die Sollspannung U_{soll} kann beispielsweise 15 Volt betragen. Mit der Spannungsregelung der Figur 4 wird somit erreicht, dass die Istspannung U_{ist} nach Ablauf der Ausschaltzeitdauer t_{off} möglichst genau z.B. 15 Volt beträgt. Danach besteht
 die Möglichkeit, zur vollständigen Entladung des Piezoaktors 50 diesen über einen Widerstand kurzzuschließen. Dies hat zur Folge, dass die noch vorhandene Ladung quasi schlagartig von dem Piezoaktor 50 abfließt. Dies ist in der Figur 5 mit dem Bezugszeichen 70 gekennzeichnet.

15 Auf diese Weise wird zweierlei erreicht: Erstens wird die von dem Piezoaktor 50 abzuführende Ladung immer während der Ausschaltzeitdauer t_{off} abgeführt. Die Ausschaltzeitdauer t_{off} ist somit eine feste Größe, die durch andere Parameter vorgegeben werden kann, die jedoch nicht durch den beschriebenen Spannungsregelkreis verändert wird. Zweitens wird bei dem Spannungsregelkreis der
 20 Figur 4 die von dem Piezoaktor 50 abzuführende Ladung über den die Ladung transportierenden Strom i_{doff} geregelt. Dieser Strom i_{doff} wird dabei über die Endstufe 35 entgegengesetzt gerichtet und gegebenenfalls getaktet dem Piezoaktor 50 zugeführt. Die nach der Ausschaltzeitdauer t_{off} noch vorhandene Ladung kann z.B. durch einen Widerstand von dem Piezoaktor 50 abgezogen werden.

25

Die dem Piezoaktor 50 über der Zeit t zugeführte Ladung Q der Figur 5 entspricht dem von der Ventalnadel 46 ausgeführten Hub. In dem ansteigenden Teil der in der Figur 5 gezeigten Kurve wird die Ventalnadel 46 von ihrem Ventilsitz abgehoben, so dass der Injektor geöffnet wird, während in dem abfallenden Teil die Ventalnadel 46 sich wieder
 30 in ihren geschlossenen Zustand zurückbewegt. Damit ist es möglich, über die

beschriebene Beeinflussung des ansteigenden und abfallenden Teils der in der Figur 5 dargestellten Kurve letztlich den Hub der Ventilnadel 46 zu beeinflussen. Dieser Hub und die zwischen der Ein- und Ausschaltzeitdauer befindliche Ansteuer-Zeitdauer t_i (siehe Figur 5) ist jedoch gleichbedeutend zu der eingespritzten Kraftstoffmenge bzw. –masse. Damit kann mit Hilfe der beschriebenen Verfahren die eingespritzte Kraftstoffmenge bzw. –masse geregelt werden.

5

28.02.2003

- 5 1. Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart
2. DaimlerChrysler, Epplestr. 225, 70567 Stuttgart

Ansprüche



10

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10), bei dem Kraftstoff von einem Injektor (26) in einen Brennraum (20) eingespritzt wird, wobei der Injektor (26) einen ansteuerbaren Piezoaktor (50) aufweist, und bei dem ein Sollwert für die Ansteuerung des Piezoaktors (50) erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Sollwert eine Soll-Ladungsmenge (QC_{soll}) ermittelt wird, dass eine dem Piezoaktor (50) zugeführte Ist-Ladungsmenge (QC_{ist}) ermittelt wird, dass die Soll-Ladungsmenge (QC_{soll}) und die Ist-Ladungsmenge (QC_{ist}) miteinander verknüpft werden, und dass das Verknüpfungsergebnis (Son) auf die Ansteuerung des Piezoaktors (50) einwirkt (Figur 3).

15



20

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Soll-Ladungsmenge (QC_{soll}) ein Strom (idon) zur Ansteuerung des Piezoaktors (50) ermittelt wird, und dass das Verknüpfungsergebnis (Son) auf den Strom (idon) einwirkt.

25

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Ladungsmenge (QC_{soll}) auf eine vorgegebene Einschaltzeitdauer (ton) bezogen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der Ist-Ladungsmenge (QC_{ist}) nach Ablauf der Einschaltzeitdauer (ton)

durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Verknüpfungsergebnis (Son) von einem PI-Regler (62) beeinflusst wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch dessen Verwendung zum Öffnen des Injektors (26) .

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Sollspannung (U_{soll}) für die Ansteuerung des Piezoaktors (50) erzeugt wird, dass eine an dem Piezoaktor (50) anliegende Istspannung (U_{ist}) ermittelt wird, dass die Sollspannung (U_{soll}) und die Istspannung (U_{ist}) miteinander verknüpft werden, und dass das Verknüpfungsergebnis (S_{off}) auf die Ansteuerung des Piezoaktors (50) einwirkt (Figur 4).

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Soll-Ladungsmenge (Q_{Csoll}) ermittelt wird, dass aus der Soll-Ladungsmenge (Q_{Csoll}) ein Strom (i_{doff}) zur Ansteuerung des Piezoaktors (50) ermittelt wird, und dass das Verknüpfungsergebnis (S_{off}) auf den Strom (i_{doff}) einwirkt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Ladungsmenge (Q_{Csoll}) auf eine vorgegebene Ausschaltzeitdauer (t_{off}) bezogen wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Istspannung (U_{ist}) nach Ablauf der Ausschaltzeitdauer (t_{off}) ermittelt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Verknüpfungsergebnis (S_{off}) von einem PI-Regler (62) beeinflusst wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, gekennzeichnet durch dessen Verwendung zum Schließen des Injektors (26) .

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Piezoaktor (50)

insbesondere über einen Widerstand entladen oder kurzgeschlossen wird.

14. Computerprogramm mit einer Mehrzahl von Programmbefehlen, die derart programmiert sind, dass bei deren Durchführung ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 ausgeführt wird.


- 5 15. Speichermedium, auf dem ein Computerprogramm gespeichert ist, das derart programmiert ist, das bei dessen Ausführung ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 ausgeführt wird.

16. Steuer- und/oder Regelgerät (34) hergerichtet zur Anwendung in einem Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13.

- 10 17. Brennkraftmaschine (10) insbesondere für ein Kraftfahrzeug mit einem Steuer- und/oder Regelgerät (34) hergerichtet zur Anwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13.


28.02.2003

- 5 1. Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart
 2. DaimlerChrysler, Epplestr. 225, 70567 Stuttgart

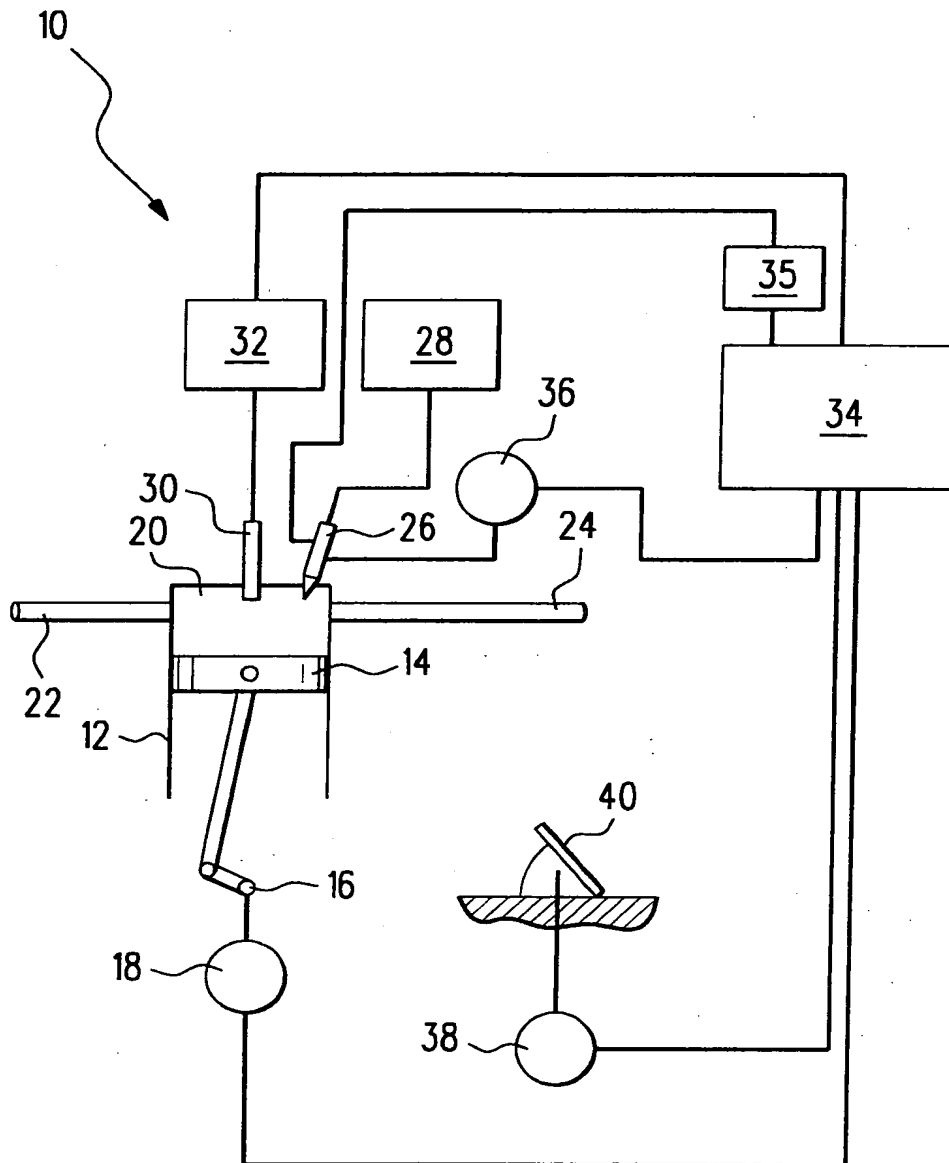
 Verfahren, Computerprogramm, Speichermedium und Steuer- und/oder Regelgerät zum
Betreiben einer Brennkraftmaschine, sowie Brennkraftmaschine insbesondere für ein
Kraftfahrzeug

15 Zusammenfassung

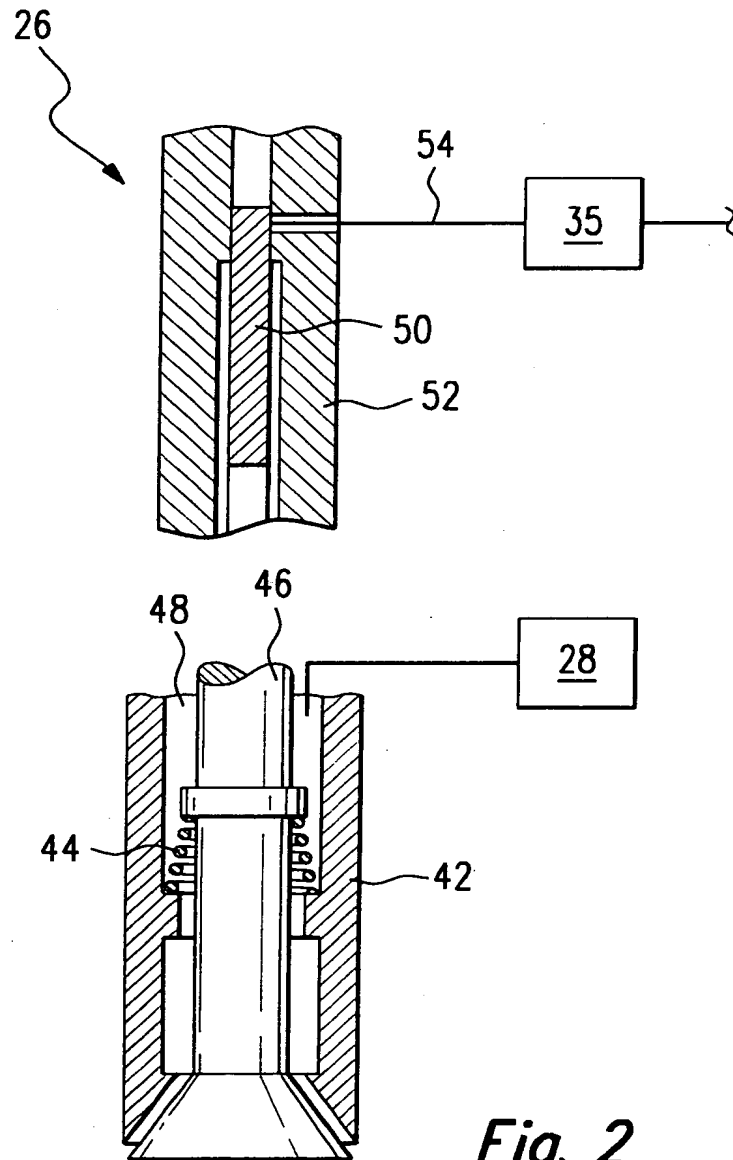
Es wird ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine beschrieben, bei dem Kraftstoff von einem Injektor in einen Brennraum eingespritzt wird. Der Injektor weist einen ansteuerbaren Piezoaktor auf. Bei dem Verfahren wird ein Sollwert für die

 20 Ansteuerung des Piezoaktors erzeugt. Aus dem Sollwert wird eine Soll-Ladungsmenge (QC_{soll}) ermittelt, und es wird eine dem Piezoaktor (50) zugeführte Ist-Ladungsmenge (QC_{ist}) ermittelt. Die Soll-Ladungsmenge (QC_{soll}) und die Ist-Ladungsmenge (QC_{ist}) werden miteinander verknüpft, und es wirkt das Verknüpfungsergebnis (Son) auf die Ansteuerung des Piezoaktors (50) ein. Figur 3

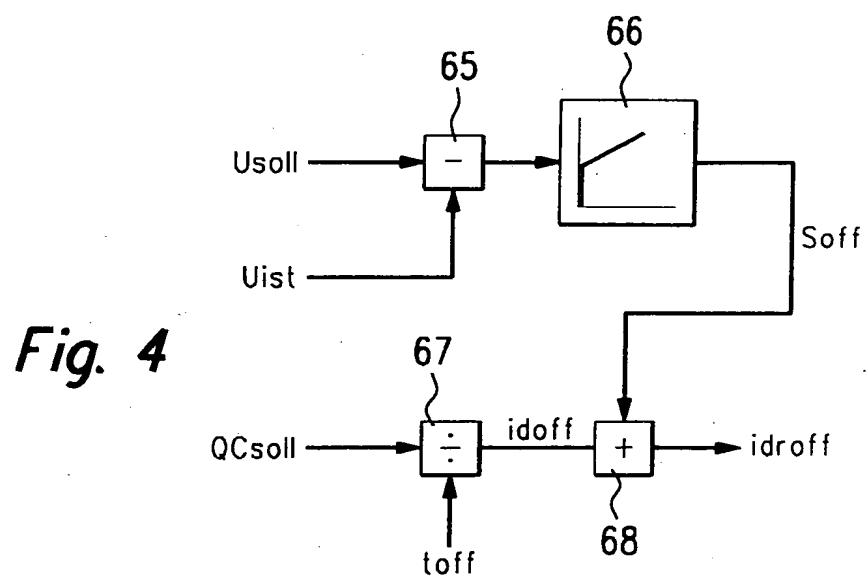
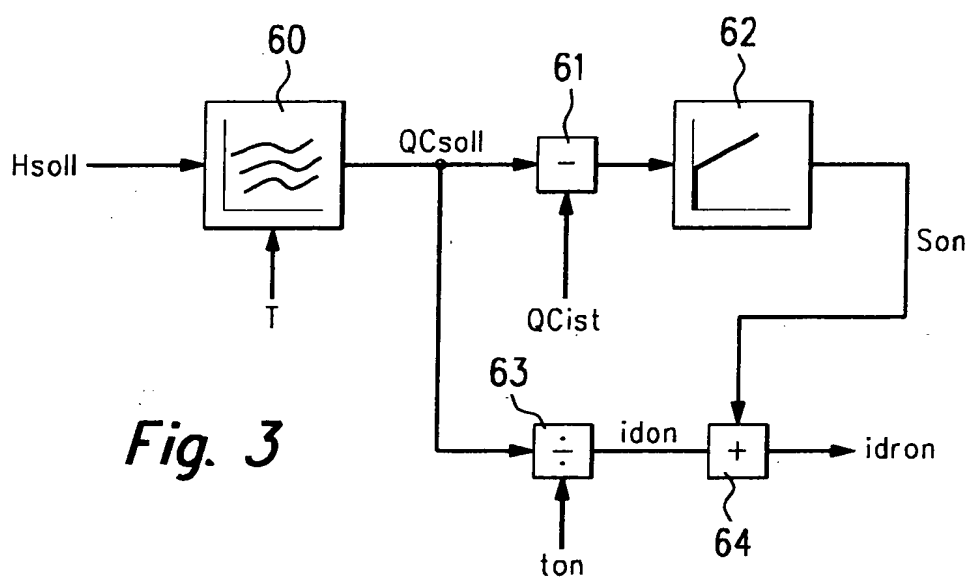
1 / 4

*Fig. 1*

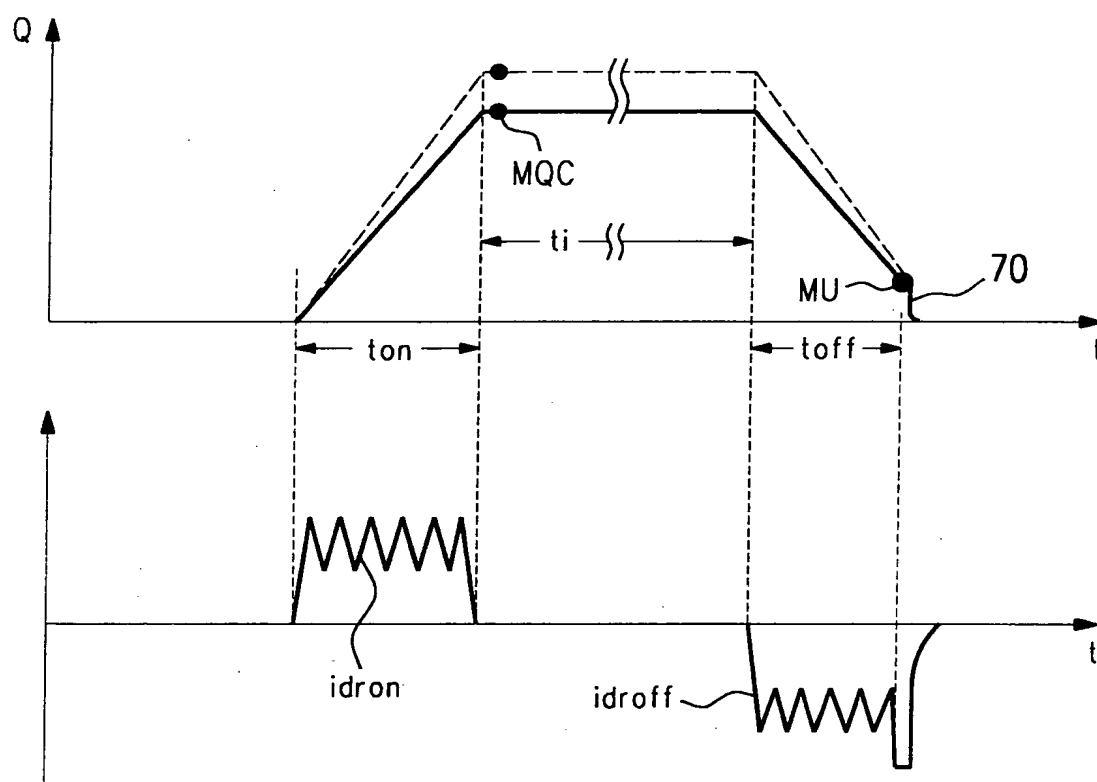
2 / 4

*Fig. 2*

3 / 4



4 / 4

*Fig. 5*